

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 457 473** ⁽¹³⁾ **C2**

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
(51) МПК
[G01N 27/06 \(2006.01\)](#)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

Статус: не действует (последнее изменение статуса: 27.10.2015)

(21)(22) Заявка: [2010143194/28](#), 21.10.2010(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
21.10.2010

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 21.10.2010

(45) Опубликовано: [27.07.2012](#) Бюл. № 21

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: Тягунов Г.В. и др. Измерение удельного электросопротивления методом вращающегося магнитного поля// Заводская лаборатория. Диагностика материалов. - М.: 2003, №2, том 69, 35-37. RU 2299425 C1, 20.05.2007. RU 94706 U1, 27.05.2009. WO 209069782 A1, 04.06.2009. JP 9044256 A, 14.02.1997.

Адрес для переписки:

620002, г.Екатеринбург, ул. Мира, 19, УрФУ,
Центр интеллектуальной собственности,
Т.В. Маркс

(72) Автор(ы):

Конашков Виктор Васильевич (RU),
Поводатор Аркадий Моисеевич (RU),
Вьюхин Владимир Викторович (RU),
Цепелев Владимир Степанович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
"Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н.
Ельцина" (RU)

(54) СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО РАСПЛАВА МЕТОДОМ ВРАЩАЮЩЕГОСЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

(57) Реферат:

Изобретение относится к технической физике, а именно к анализу материалов путем бесконтактного фотометрического определения удельного электрического сопротивления (электросопротивления) нагреваемого тела в зависимости от температуры, в частности к определению относительной электропроводности металлов и сплавов в жидком состоянии. Предложен способ, при котором воздействуют на тигель с образцом расплава вращающимся магнитным полем, после чего начинают определение колебательной траектории отраженного светового луча, соответствующей крутильным колебаниям тигля, посредством фотоприемного устройства с получением значений параметров в виде электрических сигналов, определение параметров колебательной траектории отраженного светового луча начинают одновременно с началом воздействия на тигель с образцом расплава вращающегося магнитного поля, величину угла поворота тигля с образцом расплава определяют путем сравнения значений выходных сигналов фотоприемного устройства, соответствующих временным параметрам двух соседних полупериодов

одного из начальных, например второго - четвертого, периодов крутильных колебаний тигля с образцом расплава. Изобретение обеспечивает возможность сокращения времени измерения, повышения объективности, достоверности и точности измерений в условиях быстроменяющейся величины электросопротивления расплава при изменениях температуры, упрощение и удешевление эксперимента, а также снижение угара расплава или его компонентов. 2 з.п. ф-лы, 3 ил.

Изобретение относится к технической физике, а именно к анализу материалов путем бесконтактного фотометрического определения удельного электрического сопротивления (электросопротивления) нагреваемого тела в зависимости от температуры, в частности к определению относительной электропроводности металлов и сплавов в жидком состоянии.

Суть метода вращающегося магнитного поля заключается в том, что тигель с измеряемым образцом расплава или эталоном подвешивается на упругой, например нихромовой, нити внутри высокотемпературной зоны вакуумной электропечи в области вращающегося однородного постоянного магнитного поля. Это поле создают тремя парами катушек, питающихся от трехфазной силовой сети 50 Гц, являющихся аналогом статора асинхронного двигателя. Поле генерирует индукционные токи в образце, являющемся аналогом ротора асинхронного двигателя, что создает магнитный момент. Образец расплава взаимодействует с магнитным полем, создается вращательный механический момент, которому противодействует упругость нити. Угол поворота образца при этом функционально связан с электросопротивлением образца расплава, амплитудой и частотой магнитного поля и с коэффициентом упругости нити. При фиксированном значении параметров магнитного поля и нити, а также геометрии, массы и плотности эталонного и изучаемого образца расплава электросопротивление однозначно связано с углом отклонения (закручивания нити) как для эталона, так и для изучаемого образца, который определяют посредством фотоприемного устройства, например по наблюдению отраженного светового луча («зайчика») на шкале оптической линейки.

Момент сил M , действующих на тигель с образцом металлического расплава с удельным электросопротивлением ρ в однородном магнитном поле напряженностью H пропорционален частоте f , квадрату напряженности поля H и удельной электропроводности $1/\rho$ образца расплава - см. Филиппов С.И. и др. «Физико-химические методы исследования металлургических процессов». М.: Металлургия, 1968, стр.300, формула XX-20. Иными словами, момент сил M закручивания упругой нити на угол φ при стабилизированном токе I в катушках и, следовательно, постоянном по величине вращающемся магнитном поле однозначно связан с электросопротивлением ρ образца. Известна расчетная формула для сравнительного вычисления удельного электросопротивления ρ - см. Г.В.Тягунов и др. «Измерение удельного электрического сопротивления методом вращающегося магнитного поля». М.: Заводская лаборатория, 2003, №2, т.69, стр.36, формула 1:

$$\rho = \rho_0 \left(\frac{m d_0}{m_0 d} \right)^{1,76} \left(\frac{\varphi_0 / I_0^2}{\varphi / I^2} \right), \quad (1)$$

где m , m_0 - массы исследуемого и эталонного образцов расплава соответственно; d , d_0 - плотности исследуемого и эталонного образцов соответственно; ρ_0 - удельное электросопротивление эталона; φ , φ_0 - углы закручивания (поворота) исследуемого и эталонного образцов соответственно, равные угловому отклонению отраженного светового луча; I , I_0 - ток, проходящий по катушкам источника вращающегося постоянного магнитного поля при исследовании образца и эталона соответственно.

Известен способ бесконтактного измерения электрического сопротивления металлического твердого образца или его расплава методом вращающегося магнитного поля - см. пат. РФ №2299425 - аналог, в котором определяют, в том числе путем прямых измерений, параметры траектории отраженного светового луча, соответствующей крутильным колебаниям тигля с образцом расплава, посредством элементов оптической линейки, используемой в качестве фотоприемного устройства, с получением значений параметров в виде электрических сигналов.

Недостатком способа является необходимость осуществления экспериментатором в соответствии с его квалификацией демпфирования собственных экспоненциально затухающих колебаний подвески перед измерением путем временного, в течение дополнительных 1-5 минут, воздействия на подвеску тормозящего магнитного поля, создаваемого включаемым несколько раз экспериментатором в момент прохождения отраженным световым лучом экстремумов колебательной траектории, дополнительным магнитным узлом, расположенным вне зоны действия

вращающегося постоянного магнитного поля. Только после этого начинают собственно измерение электросопротивления ρ расплава методом вращающегося магнитного поля. В результате возрастает время измерения электросопротивления ρ расплава в каждой температурной точке на вышеуказанные 1-5 минут, эксперимент усложняется и затягивается примерно на 1-4 часа, сохраняется влияние на эксперимент квалификации экспериментатора, существует риск угара расплава или его компонентов.

Известен способ определения относительной электропроводности металлов и сплавов в жидком состоянии, основанный на регистрации посредством фотоприемного устройства углового отклонения отраженного светового луча, с помощью установки для бесконтактного фотометрического измерения удельного электросопротивления методом вращающегося магнитного поля - см. вышеуказанное Г.В. Тягунов и др. «Измерение удельного электросопротивления методом вращающегося магнитного поля». Журн. «Заводская лаборатория. Диагностика материалов», М., 2003, №2, том 69, 35-37, - прототип. Установка содержит вакуумную электропечь, в зоне нагрева которой на упругой подвеске закреплен тигель с размещенным в нем эталоном или исследуемым металлическим расплавом, соединенный с упругой частью подвески с помощью керамического стержня, с зафиксированным на верхней части керамического стержня зеркалом, источник света, фотоприемное устройство, например, в виде измерительной линейки и источник вращающегося постоянного магнитного поля, магнитная система которого питается от силовой 3-х фазной сети и размещена вокруг зоны нагрева вакуумной печи.

Недостатком способа является необходимость длительного, до десяти минут, ожидания затухания собственных колебаний упругой нити и достижения требуемого для измерений установившегося значения ϕ угла поворота образца при периоде собственных колебаний всей подвесной системы около 7-10 секунд. Эксперимент и его результаты в этом случае зависят от квалификации экспериментатора, что затрудняет объективный, точный и достоверный отсчет углов отклонения ϕ при высокой крутизне изменения электросопротивления на некоторых участках изменения температуры (политермы) и ведет к пропуску ряда точек измерения, а невысокое быстродействие измерений ведет, в конечном итоге, к уменьшению точности построения зависимости (политермы) электросопротивления расплава от температуры.

Задачей предлагаемого способа является сокращение времени измерения, повышение объективности, достоверности и точности измерений в условиях быстроменяющейся величины электросопротивления расплава при изменениях температуры, упрощение и удешевление эксперимента, а также обеспечение возможности снижения угара расплава или его компонентов.

Для решения поставленной задачи предлагается способ измерения электрического сопротивления металлического расплава методом вращающегося магнитного поля.

В способе измерения электрического сопротивления металлического расплава методом вращающегося магнитного поля, при котором определяют угол поворота исследуемого образца расплава, после чего определяют параметры колебательной траектории отраженного светового луча, соответствующей крутильным колебаниям тигля с образцом расплава, посредством фотоприемного устройства с получением значений параметров в виде электрических сигналов, определение параметров колебательной траектории отраженного светового луча начинают одновременно с началом воздействия на тигель с образцом расплава вращающегося магнитного поля, величину угла поворота тигля с образцом расплава определяют путем сравнения значений выходных сигналов фотоприемного устройства в виде импульсов, соответствующих временным параметрам двух соседних полупериодов одного из начальных, например второго - четвертого, периодов крутильных колебаний тигля с образцом расплава.

Кроме того, угол поворота тигля с образцом расплава определяют в виде величины, пропорциональной модулю разницы временных значений выходных электрических сигналов фотоприемного устройства.

Кроме того, в качестве фотоприемного устройства используют устройство, состоящее из N фотосенсоров, где N - целое число.

Отличительные признаки предложенного изобретения обеспечивают возможность сокращения времени измерения, повышения объективности, достоверности и точности измерений в условиях быстроменяющейся величины электросопротивления расплава при изменениях температуры, упрощение и удешевление эксперимента, а также снижение угара расплава или его компонентов.

Предлагаемое изобретение поясняется чертежами:
фиг.1 - Блок-схема измерительного комплекса;

фиг.2 - Осциллограммы электрических сигналов в основных узлах измерительного комплекса;

фиг.3 - Алгоритм определения угла поворота тигля с образцом расплава.

Установка для реализации способа бесконтактного измерения электрического сопротивления металлического расплава методом вращающегося магнитного поля приведена на фиг.1. Устройство содержит компьютер (на фиг.1 не показано), вакуумную электропечь 1, в зоне нагрева которой на подвеске 2 коаксиально подвешен тигель 3 с исследуемым образцом расплава, соединенный с упругой частью подвески 2 с помощью керамического стержня 4. Источник 5 вращающегося постоянного магнитного поля, магнитная система которого расположена вокруг вакуумной электропечи 1, расположен в области высокотемпературной зоны, создаваемой коаксиальным цилиндрическим нагревателем 6, питающимся от трехфазной силовой сети (на фиг.1 не показано). Оптический измерительный узел состоит из зеркала 7, закрепленного на верхнем конце керамического стержня 4, источника света 8, фотоприемного устройства 9.

В качестве упругой части подвески 2 используется нихромовая нить длиной около 650 и диаметром 0,08 мм. Объем образца исследуемого металлического расплава в тигле 3 составляет 0,5 см куб. Магнитная система источника 5 вращающегося постоянного магнитного поля выполнена в виде катушек аналогично статору трехфазного электродвигателя с суммарной потребляемой мощностью примерно 650 Вт и запитана от трехфазного стабилизатора питания (на схеме не показан) через переключатель направления вращения магнитного поля (на схеме не показан). Коаксиальный молибденовый нагреватель 6, обеспечивающий изотермическую зону, включен постоянно в течение всего эксперимента. Зеркало 7 имеет площадь 1 см кв., свет попадает на него от источника света 8, например лампы накаливания или светодиода, через окно-иллюминатор (на схеме не показано) и отражается на фотоприемное устройство 9, состоящее из симметричной полупрозрачной оптической линейки с ценой деления 1 мм и длиной 500 мм (с нулем шкалы посередине), на которой зафиксированы малогабаритные интегральные фотосенсоры TSL250 фирмы TAOS - см. каталог ELFA - 55, 2007, р. 812, в количестве N, например, N=11 штук (на схеме не показано), которые, например, зафиксированы на межцентровом расстоянии (измерительной базе) $L=50$ мм друг от друга симметрично относительно центра шкалы, в котором помещен 1 из 11 фотосенсоров. Функционально фотосенсор в центре симметричной полупрозрачной оптической линейки фотоприемного устройства 9 является основным, остальные фотосенсоры - вспомогательные. Выходные сигналы фотоприемного устройства 9 могут быть представлены в этом случае в виде многоканальной (N=11 каналов в данном случае) последовательности импульсов. Определение временных параметров выходных электрических сигналов фотоприемного устройства 9 может быть осуществлено при подаче их по шине данных на вход серийного прибора - программного реверсивного счетчика Ф5007 или программным способом посредством персонального компьютера.

Измерение удельного электросопротивления посредством вышеуказанной установки осуществляется следующим образом. Подготавливают равноразмерные эталонный и изучаемый образцы, у которых определяют массу и плотность. Затем проводят два одинаковых эксперимента - градуировочный с эталоном, например с монокристаллом вольфрама с известными электросопротивлением и плотностью, а после - с измеряемым образцом. Эталонный образец в тигле 3 подвешивают в вакуумную электропечь 1 в район высокотемпературной изотермической зоны, включают фотоприемное устройство 9 и отраженный световой луч от зеркала 7 устанавливают в центре симметричной полупрозрачной оптической линейки фотоприемного устройства 9, при этом засвечивают центральный фотосенсор. Затем создают вакуум до 0,01 Па, после чего производят нагрев изотермической зоны электропечи 1 коаксиальным нагревателем 6 до температуры, с которой начинается процесс снятия данных для измерений. При прогреве до нужной температуры включают источник 5 вращающегося постоянного магнитного поля.

Параметры колебательной траектории отраженного светового луча 10 во время измерений при вращательных колебаниях подвески 2 с тиглем 3 с образцом расплава, начиная с начального момента - включения источника 5 вращающегося постоянного магнитного поля, определяют следующим образом. Основные осциллограммы электрических сигналов в основных узлах измерительного комплекса приведены на фиг.2. В начальный момент времени t_0 отраженный световой луч 10 находится на центральном фотосенсоре фотоприемного устройства 9 (в центре симметричной полупрозрачной оптической линейки), который вырабатывает соответствующий импульсный сигнал U, являющийся выходным сигналом фотоприемного устройства 9,

который через выходную шину фотоприемного устройства 9 вводится в компьютер (на фиг.1 не показано) посредством, например, USB или COM-порта. В результате воздействия на образец расплава вращающегося магнитного поля и соответствующего колебательного (углового) отклонения траектории отраженного светового луча 10 прекращается освещение центрального фотосенсора фотоприемного устройства 9, а электрический сигнал на выходе фотоприемного устройства 9 $U=0$. В момент τ_1 , соответствующий концу первого полупериода и началу второго соседнего полупериода колебательной траектории отраженного светового луча 10 происходит кратковременное, в несколько долей секунды, освещение центрального фотосенсора фотоприемного устройства 9, на выходе которого снова появляется и исчезает соответствующий электрический сигнал U . В момент τ_2 , соответствующий концу одного полупериода и началу следующего соседнего полупериода колебательной траектории отраженного светового луча 10, снова происходит кратковременное освещение центрального фотосенсора фотоприемного устройства 9, на выходе которого снова появляется и исчезает соответствующий сигнал U . Передний фронт сигнала U в начальный момент времени τ_0 является стартовым сигналом для начала процедуры измерений и старта компьютерной программы $\varphi=f(U)$ оцифровки колебательной траектории светового луча 10, определения временных параметров, величины их разности, модуля этой величины и вычисления угла поворота φ_k по этим величинам. Желательно начинать процедуру измерений со второго полупериода первого колебания, чтобы исключить влияние на результаты измерения переходного процесса после включения вращающегося магнитного поля. Два временных отрезка 11 $\tau_m=\tau_1-\tau_0$ и 12 $\tau_n=\tau_2-\tau_1$ длительностью в единицы секунд (см. фиг.2), соответствующие соседним полупериодам колебательной траектории светового луча 10 с электрическим сигналом 13 U_m и 14 U_n , в случае равенства их между собой: 15 $(13 U_m - 14 U_n)=0$ при отсутствии вращающегося магнитного поля свидетельствуют о нулевом угле φ отклонения траектории светового луча 10, а в случае неравенства: 16 $(13 U_m - 14 U_n)\neq 0$, при наличии вращающегося магнитного поля, пропорциональны ненулевой величине угла φ отклонения траектории светового луча 10. Величина модуля разности 17 $|13 U_m - 14 U_n|$ временных параметров отражает значения угла φ отклонения траектории светового луча 10. Тактовая частота компьютера обеспечивает выполнение расчетов с необходимой точностью, поскольку заполнение тактовыми импульсами вышеуказанных временных величин превышает их на 5-8 порядков, что обеспечивает их подсчет компьютером при определении временных интервалов выходных электрических сигналов фотоприемного устройства 9, разницы между ними 15, 16 и вычислении модуля 17 этой разницы, по которому определяют угол φ отклонения тигля 3 с исследуемым образцом. На фиг.3 приведен алгоритм определения этого угла отклонения тигля с образцом расплава. При использовании нескольких фотосенсоров (интегральных фотодиодов) данный алгоритм выполняется для каждого фотосенсора, но операция вычисления (и записи/вывода) значения электросопротивления (угла φ отклонения траектории светового луча 10) производится по значениям τ того фотосенсора, где модуль разности $|\tau_m-\tau_n|$ наименьший. В случае возможного смещения колебаний светового луча 10 вне зоны действия центрального фотосенсора фотоприемного устройства 9 его роль выполняет тот из десяти вспомогательных фотосенсоров, соединенных шиной данных с компьютером, например, через схему «ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ», который в данный момент освещается отраженным световым лучом, при этом каждый из них идентифицируется со своим выходным сигналом, содержащим информацию о номере фотосенсора, например кодовое сочетание из нескольких добавочных импульсов, и соответствует своему диапазону углов φ отклонения тигля 3 с исследуемым образцом расплава. Процедура выполнения эксперимента при этом не меняется.

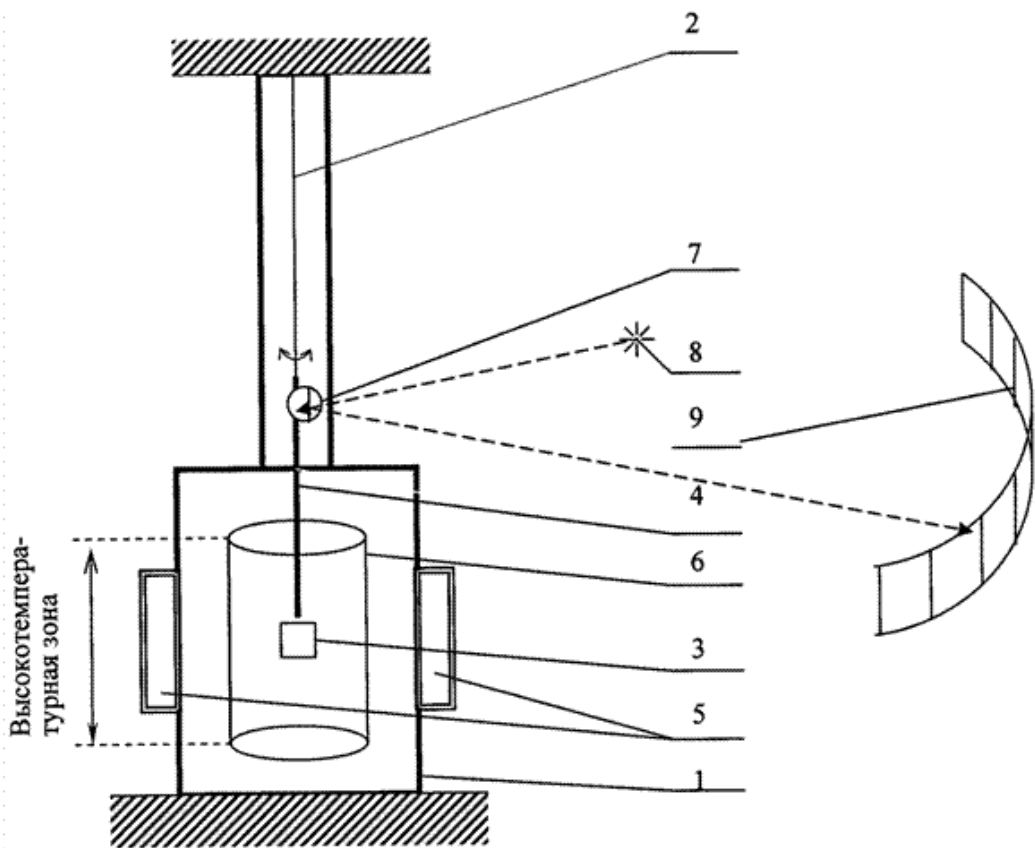
Определение угла φ отклонения тигля 3 с исследуемым образцом при измерении электрического сопротивления ρ металлического расплава методом вращающегося магнитного поля путем измерения двух временных значений выходных сигналов фотоприемного устройства 9: 11 $\tau_m=\tau_1-\tau_0$ и 12 $\tau_n=\tau_2-\tau_1$, соответствующих соседним полупериодам одного из первых колебаний траектории светового луча 10 с учетом периода собственных колебаний в 5 - 10 секунд, позволяет получить значение этого угла за время, близкое к длительности одного периода собственных колебаний, что сокращает общее время эксперимента примерно на 1-4 часа. Это обеспечивает повышение объективности, достоверности и точности измерений в условиях быстроменяющейся величины электросопротивления расплава при изменениях температуры, упрощение и удешевление эксперимента, а также снижение угара расплава или его компонентов.

Формула изобретения

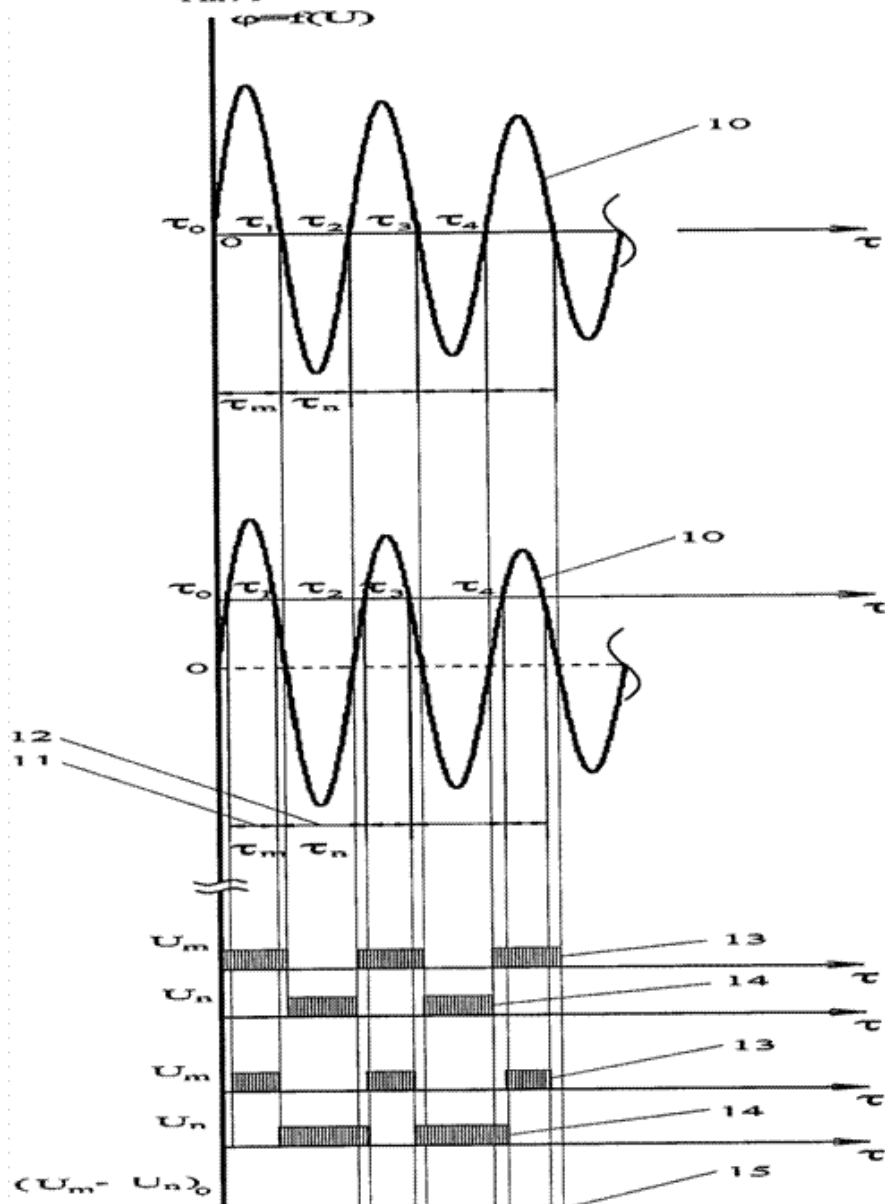
1. Способ измерения электрического сопротивления металлического расплава методом вращающегося магнитного поля, при котором определяют угол поворота исследуемого образца расплава, после чего определяют параметры колебательной траектории отраженного светового луча, соответствующей крутильным колебаниям тигля с образцом расплава, посредством фотоприемного устройства с получением значений параметров в виде электрических сигналов, отличающийся тем, что определение параметров колебательной траектории отраженного светового луча начинают одновременно с началом воздействия на тигель с образцом расплава вращающегося магнитного поля, величину угла поворота тигля с образцом расплава определяют путем сравнения значений выходных сигналов фотоприемного устройства в виде импульсов, соответствующих временным параметрам двух соседних полупериодов одного из начальных, например, второго-четвертого, периодов крутильных колебаний тигля с образцом расплава.

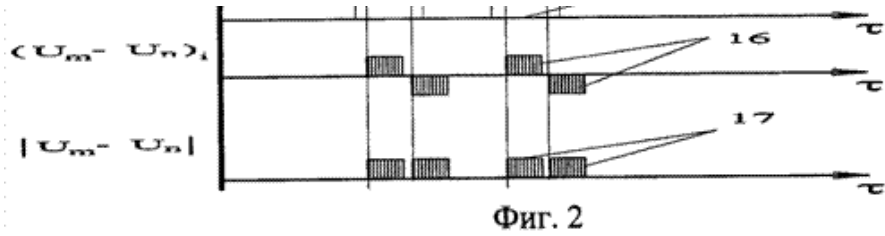
2. Способ по п.1, отличающийся тем, что угол поворота тигля с образцом расплава определяют в виде величины, пропорциональной модулю разницы временных значений выходных электрических сигналов фотоприемного устройства.

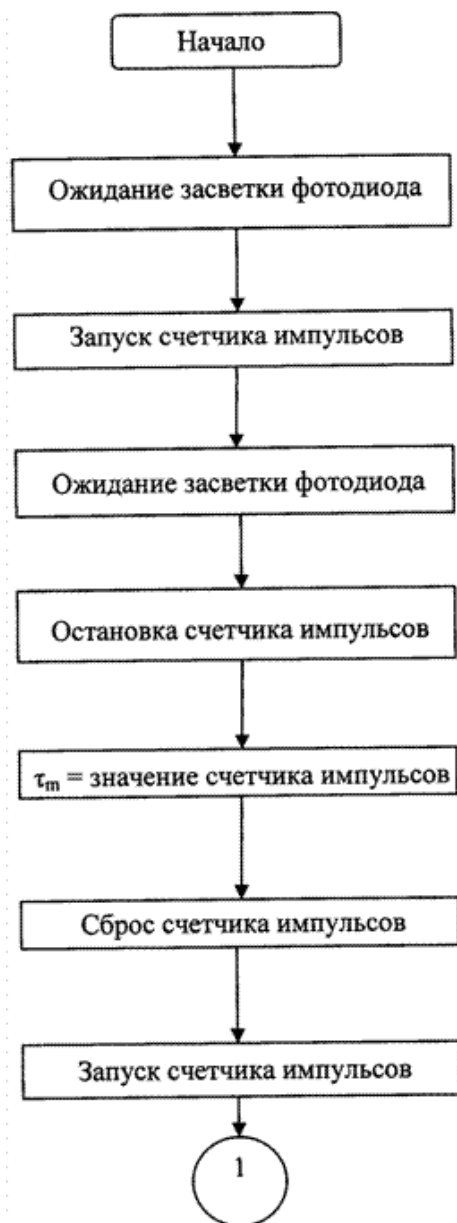
3. Способ по п.1, отличающийся тем, что в качестве фотоприемного устройства используют устройство, состоящее из N фотосенсоров, где N - целое число.



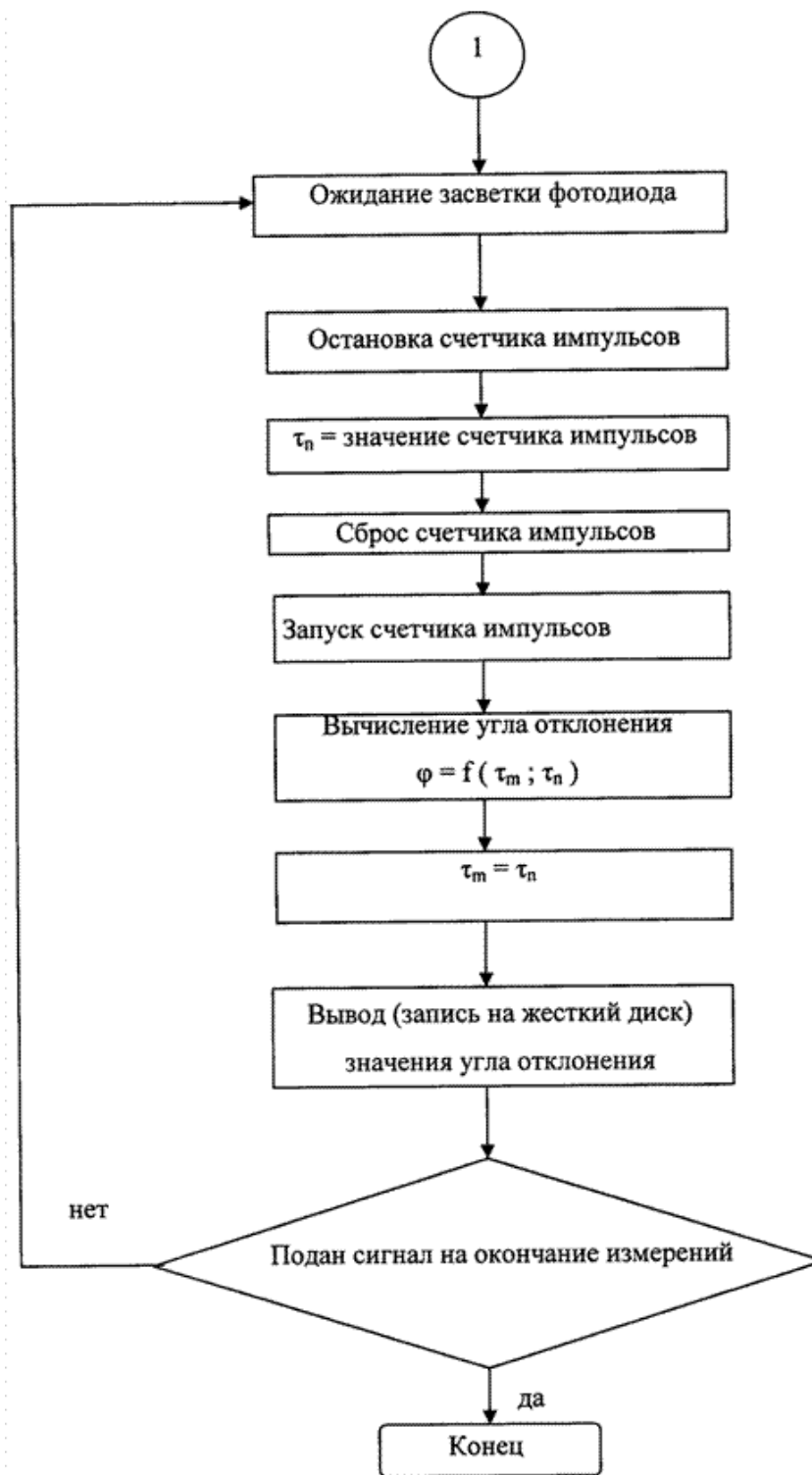
Фиг. 1







Фиг. 3



Фиг. 3 (продолжение)

ИЗВЕЩЕНИЯ

ММ4А Досрочное прекращение действия патента из-за неуплаты в установленный срок пошлины за поддержание патента в силе

Дата прекращения действия патента: 22.10.2012

Дата публикации: [10.08.2013](#)

